

10-31-02 cd  
F2

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: T. YAMAZAKI, ET AL.

Serial No.: not yet known

Filing Date: Herewith

For: NUMERICALLY CONTROLLED METHOD



Asst. Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

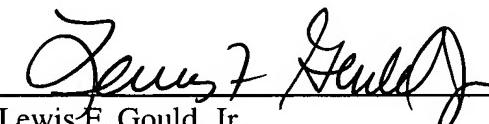
**CLAIM OF FOREIGN PRIORITY**

Priority under the International Convention for the Protection of Industrial Property and under 35 USC 119 is hereby claimed for the above-identified patent application, based upon Japanese Patent Application No. 2000/371386 filed December 6, 2000. A certified copy of the application are submitted herewith which perfects the Claim of Foreign Priority.

Respectfully submitted,

Dated: December 5, 2001

Docket No. 3005-31

  
Lewis F. Gould, Jr.  
Registration No. 25,057  
DUANE, MORRIS & HECKSCHER LLP  
One Liberty Place  
Philadelphia, PA 19103  
(215) 979-1282

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

JCT 61 U.S. PTO  
10/004640  
12/08/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年12月 6日

出願番号

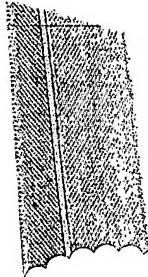
Application Number:

特願2000-371386

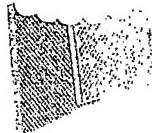
出願人

Applicant(s):

山崎 恒彦



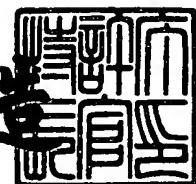
CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT



2001年11月 9日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3098103

【書類名】 特許願

【整理番号】 001050

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G05B 19/00

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市天白区表山3丁目2443

【氏名】 山崎 恒彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市南区永田台42-12

【氏名】 大西 公平

【発明者】

【住所又は居所】 岐阜県岐阜市鏡島1887-2

【氏名】 宮川 直臣

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県小牧市篠岡3丁目15-10

【氏名】 井上 利彦

【特許出願人】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市天白区表山3丁目2443

【氏名又は名称】 山崎 恒彦

【代理人】

【識別番号】 100083138

【弁理士】

【氏名又は名称】 相田 伸二

【選任した代理人】

【識別番号】 100082337

【弁理士】

【氏名又は名称】 近島 一夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 069328

特2000-371386

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 数値制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 制御軸を制御しながら、制御対象物を所定の軌跡に沿って移動させる数値制御方法において、

前記軌跡を空間多項式で近似すると共に、

該多項式を時間関数としての多項式に変換し、

前記変換された時間関数としての多項式を前記各制御軸について分配し、

前記各軸に分配された時間関数としての多項式に基づいて、前記各制御軸における制御指令を生成し、

前記制御指令に基づいて、各制御軸を制御して、前記制御対象物を前記軌跡に沿って移動させるようにして構成した、数値制御方法。

【請求項2】 前記制御指令は、前記変換された時間関数としての多項式に基づく位置指令、前記変換された時間関数としての多項式を1階微分した速度指令、前記変換された時間関数としての多項式を2階微分した加速度指令に基づいて生成される、請求項1記載の数値制御方法。

【請求項3】 前記制御指令は、制御対象物が未だ移動していない将来の時点での位置、速度を、前記時間変数としての多項式に基づいて演算し、指令することにより行うことの特徴とする、請求項1記載の、数値制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、曲面加工等を高精度に行うことのできる数値制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

図7は従来のサーボ制御装置を示す模式図である。レーザ加工機やマシニングセンタなどに用いられる従来のサーボ制御装置60は、3次元空間位置指令を用いて各軸のサーボ制御を行う際に、加工プログラムなどで指示された空間位置指令と速度指令に基づき、当該位置指令及び速度指令を実現するために必要な、

各制御軸についての移動指令を軸指令生成部50で生成する。

#### 【0003】

こうして生成された各軸についての移動指令を対応する軸制御部に出力し、軸制御部では、該移動指令に基づいてモータを駆動する。その際、モータの位置、速度及び加速度がサンプリング時間毎にフィードバックされて、適正なモータの速度及び加速度が演算される。

#### 【0004】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、こうした、フィードバックにより速度及び加速度などの制御パラメータを決定する方式では、制御パラメータは、あるサンプリング時間における、既に目標から外れている軸の状態に基づいて演算されることとなる。従って、当該制御パラメータにより制御される、制御軸は、現在の時点における制御軸の状態ではなく、所定サンプリング時間前の制御軸の状態に基づいて制御されることとなり、制御に遅れが生じ、高速な送り速度で加工を行う場合や、急激にカーブを切るような工具軌跡をプログラムすると、制御遅れにより、誤差が累積してしまい、適切な制御を行うことが困難となる。

#### 【0005】

例えば図7に示すサーボ制御装置60では、工具が動く作業空間（3次元空間）内の軌道である空間位置指令PCと、速度指令VCと、が各軸指令生成部50に与えられる（なお各軸指令生成部50には速度オーバーライド指令OCを与えることも可能。）。各軸指令生成部50はこれら指令PC、VCを受けて制御すべき各軸Sn（n=1, 2, …, 5）に対する、加減速を含めた定められたサンプリング時間sごとの位置指令Dnを生成する。

#### 【0006】

各軸Snに対する軸制御部51では、該軸Snの位置指令Dnからサーボ制御に必要な速度指令、加速度指令（あるいは電流指令）を作成し、位置ループ52により位置指令Dnに基づく位置制御を、速度ループ53により速度指令に基づく速度制御を、加速度ループ55により加速度指令に基づく加速度制御を、それぞれ行うことにより、該軸Snに係るモータMの電力を制御する電力制御部5

6を介して軸サーボ制御を行う。

【0007】

しかし上述した従来のサーボ制御装置60では、各軸S<sub>n</sub>の軸制御部51において速度指令及び加速度指令が、その時点の制御軸の状態に基づいて生成されるため、速度・加速度の制御が遅れ要素をもつ。特に、直線補間（又は円弧補間）の微小分割として行うスプライン補間においては遅れ要素の影響が大きい。従って、各軸の合成運動である作業点の動きが滑らかでなく送りムラを含み、指令軌道と作業点の軌道との軌道誤差を含む制御となる。

【0008】

またこの制御系では、制御対象の機械がもつ非線形要素を考慮しない理想的な制御対象を制御した場合、スプライン補間等において、既に述べたように、空間位置指令が大きな曲率をもつ軌道に沿ったものであるとき、速度・加速度の急激な変動に対して制御する必要がある。従来では、この制御における速度・加速度指令が軸制御部51において、現在のサンプリング時刻の位置指令から作成されるため十分な制御ができず、指令との誤差が大きくなり、その結果として、加速度の積分である送りムラ、また送りムラの積分である位置ズレを生じる。

【0009】

そこで本発明は上記事情に鑑み、送りムラや位置ズレを低減し、曲面加工等を高精度に行うことのできる多軸制御方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

請求項1の発明は、制御軸を制御しながら、制御対象物を所定の軌跡に沿って移動させる数値制御方法において、

前記軌跡を空間多項式で近似すると共に、

該多項式を時間関数としての多項式に変換し、

前記変換された時間関数としての多項式を前記各制御軸について分配し、

前記各軸に分配された時間関数としての多項式に基づいて、前記各制御軸における制御指令を生成し、

前記制御指令に基づいて、各制御軸を制御して、前記制御対象物を前記軌跡

に沿って移動させるようにして構成される。

#### 【0011】

請求項2の発明は、前記制御指令が、前記変換された時間関数としての多項式に基づく位置指令、前記変換された時間関数としての多項式を1階微分した速度指令、前記変換された時間関数としての多項式を2階微分した加速度指令に基いて生成される制御方式である。

#### 【0012】

さらに、前記変換された時間関数としての多項式の3階微分した加加速度指令など、3以上の高次な次数をもつ多項式を利用して求めることも可能である。

#### 【0013】

請求項3の発明は、前記制御指令は、制御対象物が未だ移動していない将来の時点での位置、速度を、前記時間変数としての多項式に基づいて演算し、指令することにより行うことの特徴として構成される。

#### 【0014】

##### 【発明の効果】

以上説明したように本発明のうち請求項1によれば、トーチ先端（又は、工具先端）の速度、加速度、加加速度は、時間関数に変換された多項式を微分していくことにより、各制御軸について時間遅れを生じること無く、簡単に求めることが出来る。こうして求められた速度、加速度などの制御パラメータに基づいて各制御軸を駆動制御するので、制御対象物の将来の移動状態を予見して、その予見に一致するように制御する、予見制御が可能となる。これにより、制御対象物は、多項式が表す軌跡に沿って正確に移動制御され、送りムラや位置ズレを低減し、曲面加工等を高精度に行うことのできる数値制御方法の提供が可能となる。

#### 【0015】

請求項2及び3の発明によると、位置指令、速度指令、加速度指令などを、時間遅れを生じさせることなく生成することが出来、予見制御が可能となり、急曲線などの速度ベクトルや加速度ベクトルが各制御軸について急変する場合でも、容易に対応することが出来る。

#### 【0016】

## 【発明の実施の形態】

図3は本実施形態のレーザ加工機の外観を示した図である。本実施形態のレーザ加工機1は、図3(a)に示すように、ベース2を有し、ベース2には水平なX軸方向に移動駆動自在にテーブル3が設けられている。テーブル3上には加工すべきワークWが設置自在になっている。ベース2には前記テーブル3上方を跨ぐ形でコラム5が設けられており、該コラム5には水平なY軸方向(前記X軸方向とは直交する方向)に移動駆動自在なサドル6が設けられている。

## 【0017】

前記サドル6には、上下方向であるZ軸方向に移動駆動自在にヘッドユニット7が設けられている。ヘッドユニット7は、図3(b)に示すように、サドル6側の第1部分7aと、Z軸に平行な前記第1部分7aの軸心CT1を中心に前記第1部分7aに対してA軸方向に回転駆動自在に設けられた第2部分7bと、水平な前記第2部分7bの軸心CT2を中心に前記第2部分7bに対してB軸方向に回転駆動自在に設けられた第3部分7cと、該第3部分7cの先端側に設けられたトーチ7dとで構成されている。なお、図示しないレーザ発振手段が、トーチ7dよりレーザ光を射出自在に設けられている。

## 【0018】

以上のようにレーザ加工機1は、テーブル3をX軸方向に、サドル6をY軸方向に、ヘッドユニット7をZ軸方向に、トーチ7dをA軸及びB軸方向に、それぞれ駆動・位置決めしながら、テーブル3上に設置されたワークWとトーチ7d先端の相対位置関係を3次元的に変化させ、トーチ7dよりレーザ光を射出して、前記ワークWに対する3次元的な加工を行うようになっている。

## 【0019】

図1は本実施形態のレーザ加工機の制御構成を示すブロック図である。レーザ加工機1は、図1に示すように、主制御部20を有しており、該主制御部20には、加工プログラム記憶部21、多項式生成演算部23、各軸指令生成部26、軸制御部27、電力制御部35等が設けられている。なお、各軸指令生成部26と軸制御部27とによりサーボ制御装置25が構成されている。

## 【0020】

レーザ加工機1は以上のように構成されているので、該レーザ加工機1によるワークWの加工は以下のように行われる。作業者は予めティーチングなどにより加工プログラムPR（なお、この加工プログラムPRは、CAD、CAMなどを用いて作成される場合も、当然ある。）を作成しておく。作成された加工プログラムPRは、図1に示すように、レーザ加工機1の加工プログラム記憶部21に記憶される。

## 【0021】

作業者により加工開始の命令が入力されると、該命令に基づいて主制御部20は、加工プログラム記憶部21に記憶されている上記加工プログラムPRを読み出し、該加工プログラムPRで示された、ワークに対するトーチの移動位置を指令する空間位置指令PC及び、その際の移動速度である速度指令VC、即ち工具の相対移動軌跡に基づき、多項式生成演算部23で時間変数型多項式P(t)を生成する。次に、更に該時間変数型多項式P(t)に基づいてトーチ7dをテーブル3上のワークに対して相対的に移動させるための、位置指令D1、速度指令 $\alpha$ s、加速度指令 $\beta$ s、加加速度指令 $\gamma$ sなどの指令を各軸指令生成部26で生成して、各軸の軸制御部27に出力する。

## 【0022】

図2はサーボ制御装置を示す模式図であり、軸S1, S2, S3, S4, S5は、X軸、Y軸、Z軸、A軸、B軸に対応するものとする。

## 【0023】

即ち、多項式生成演算部23は、加工プログラムPRで示された、ワークに対するトーチの相対移動位置を指令する空間位置指令PC及び、その際の移動速度である速度指令VCから、図4の多軸制御プログラムMACのステップS1で示すように、それらの指令により生成される空間内の工具軌跡を近似的に表現するための、空間多項式を生成する。これは、図4に示すように、空間中の任意の曲線（直線を含む）は、複数の線素に分割した後、スプライン関数やNURBS関数などの多項式で近似出来るという公知の性質を利用するものであり、これは例えば、図4（A1）式で示すように、

$$P(\lambda) = A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D \dots \dots \quad (A1)$$

のようなベクトル演算式になる。この多項式によりスプライン曲線は勿論、直線、円弧等も正確に表現できる。(A 1) 式は、例えば制御すべき軸が、X、Y、Zの3軸の場合には、(A 2) 式のように展開することが出来る。

## 【0024】

ここで、多軸制御プログラムMACのステップS2に入り、空間多項式の $\lambda$ を、時間tの関数として、

$$\lambda = \alpha(t) \quad (\alpha \text{は } t \text{による関数})$$

$$t = \text{移動距離} / \text{送り速度}$$

と表現することが出来るので、空間多項式(A 1)は、 $\lambda = \alpha(t)$ を代入して

$$P(\alpha(t)) = A(\alpha(t))^3 + B(\alpha(t))^2 + C(\alpha(t)) + D \dots \dots \quad (A 3)$$

と、時間変数型多項式(A 3)に変換される。

## 【0025】

これにより、加工プログラムPRが指示する工具軌跡は、式(A 3)という時間の関数で表現されるので、あとは、多軸制御プログラムMACのステップS3で、当該時間変数型多項式(A 3)より、位置を表す式を得、多項式(A 3)を微分することにより、速度を示す式を得、更に速度を示す式を微分することにより、加速度を示す式を得、更に該加速度を示す式を微分することにより、加加速度を示す式を得る。これらの式は、各軸指令生成部26に出力され、各軸指令生成部26は、当該式に、所定のサンプリング時間を代入することにより、直ちに目的のサンプリング時間における位置、速度、加速度及び加加速度が、時間遅れを生じることなく得ることが出来る。

## 【0026】

即ち、任意の時点におけるトーチ先端の速度、加速度、加加速度は、当該時間関数で表された時間変数型多項式を微分して行くことにより、遅れ要素を持つことなく簡単に求めることが出来る。こうして、工具軌跡、即ち、トーチ先端の速度、加速度、加加速度指令などが得られたところで、多軸制御プログラムMACのステップS4で、トーチ先端の位置、速度、加速度、加加速度を示す式を、

逆運動学、逆ヤコビ行列などを用いて、関節空間を構成する各制御軸について分配し、各制御軸に関する速度、加速度、加加速度を示す式を求める。

## 【0027】

各軸指令生成部26は、求められた各制御軸に関する速度、加速度、加加速度を示す式から、多軸制御プログラムMACのステップS5で、任意に時点における各軸の速度、加速度、加加速度を求め、軸制御部27に位置指令Dn、速度指令 $\alpha_s$ 、加速度指令 $\beta_s$ （あるいは電流指令）、加加速度指令 $\gamma_s$ として出力する。各軸の軸制御部27は、将来の任意の時点での速度、加速度、加加速度が、前もって得られるので、将来の各サンプリング時間において、前もって得られた速度、加速度、加加速度となるように各軸を制御すれば良く（予見制御）、時間遅れのない正確な制御が可能となる。従って、その伝達関数G(S)は、ステップS6及び式(A4)で示すように、限りなく1に近づくこととなり、形状誤差のない正確な加工が可能となる。なお各軸指令生成部26には速度オーバーライド指令OCを与えることも可能である。

## 【0028】

各軸Snの軸制御部27では、受け取った位置指令Dn、速度指令 $\alpha_s$ 、加速度指令 $\beta_s$ （あるいは電流指令）、加加速度指令 $\gamma_s$ により、位置ループ30により位置指令Dnに基づく位置制御を、速度ループ31により速度指令 $\alpha_s$ に基づく速度制御を、加速度ループ32により加速度指令 $\beta_s$ に基づく加速度制御を、加加速度ループ33により加加速度指令 $\gamma_s$ に基づく加加速度制御をそれぞれ行うことにより、該軸Snに係るモータMの電力を制御する電力制御部35を介して軸サーボ制御を行う。

## 【0029】

このように各軸Snにおける軸サーボ制御が行われることにより、レーザ加工機1のトーチ7d先端は一定の速度で空間中を移動する形でワークWとの相対位置関係が3次元的に変化されると共に、トーチ7dよりレーザ光を射出することで、前記ワークWに対する3次元的な加工が上述した加工プログラムPR通りに行われる。移動軌跡を近似した多項式が時間軸関数で表現され、トーチが移動していく将来の時点での位置、速度、加速度、加加速度などが予め演算されて指

令されることから、当該多項式に基づいて制御されるトーチは、移動速度、移動方向の急変に起因する加工ムラの発生を防止することが出来、高精度の加工が出来る。

#### 【0030】

また本実施形態における制御系では、軌道を時間軸関数に基づく多項式で近似しているので、位置ズレは制御系からのものではなく、空間位置指令の近似における位置ズレのみとなる。この制御系で精度を求める場合、指令段階での誤差を考慮すればよいことになり、精度を制御しやすい。

#### 【0031】

図5及び図6に、本発明を2次元平面上の工具軌跡（トーチ軌跡）の制御に適用した例を示す。即ち、X-Y平面の曲線LINが、図5に示すように、工具軌跡として表現された場合、当該曲線LINは、点 $P_{n-1}$ 、 $P_n$ 、 $P_{n+1}$ …により複数の線素 $L_i$ に分割されており、それら複数の点 $P_{n-1}$ 、 $P_n$ 、 $P_{n+1}$ …を結ぶ曲線（直線を含む）は、式（B1）及び（B2）で示すように、空間多項式で定義される。

#### 【0032】

この定義された曲線の全長を $L$ とすると、全長 $L$ は、式（B3）で表現され、曲線LINを構成する線素 $\Delta L_i$ は、式（B4）で定義することができる。この曲線LIN上を時間変数 $t$ をもつ、式（B5）で表される速度関数 $F(t)$ の速度プロファイルを与えて、式（B4）と式（B5）を等しくすることにより、式（B6）が得られ、 $\lambda$ と時間 $t$ とを関連付けることが出来る。

#### 【0033】

これを、図6に示すように、式（B1）、（B2）に代入して、時間変数型多項式を得ることが出来る。あとは、多軸制御プログラムMACのステップS3、S4に基づいて、各制御軸に分配して、各制御軸に割り当てられた関節空間での制御を、先述のように行う。

#### 【0034】

なお、上述の実施例は、本発明による数値制御装置がレーザ加工機を制御する場合について述べたが、本発明は、レーザ加工機の制御に限らず、軸制御を行

って、制御対象物を移動制御する制御装置の全てに適用が可能である。更に、制御軸数も、5軸に限らず、4軸以下、6軸以上の制御軸に対する制御も可能である。

【0035】

【図面の簡単な説明】

【図1】

本実施形態のレーザ加工機の制御構成を示すブロック図。

【図2】

サーボ制御装置を示す模式図。

【図3】

本実施形態のレーザ加工機の外観を示した図。

【図4】

多軸制御プログラム（アルゴリズム）の一例を示すフローチャート。

【図5】

2次元平面の曲線に対する、各制御軸の指令生成のプロセスを示す図。

【図6】

2次元平面の曲線に対する、各制御軸の指令生成のプロセスを示す図。

【図7】

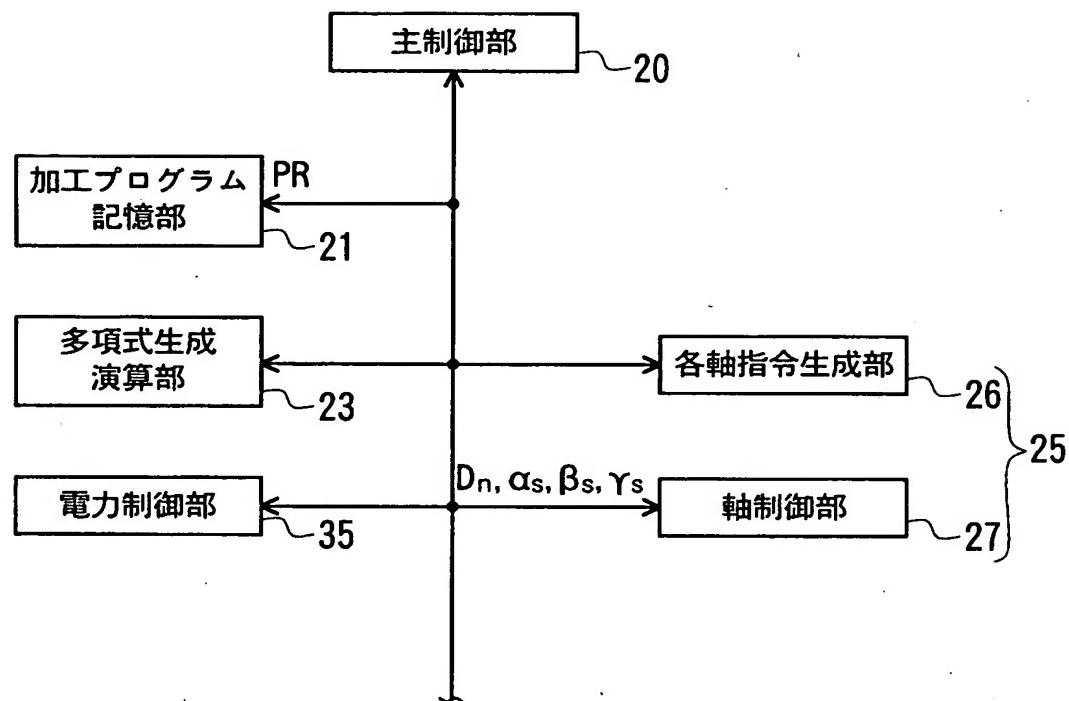
従来のサーボ制御装置を示す模式図。

【符号の説明】

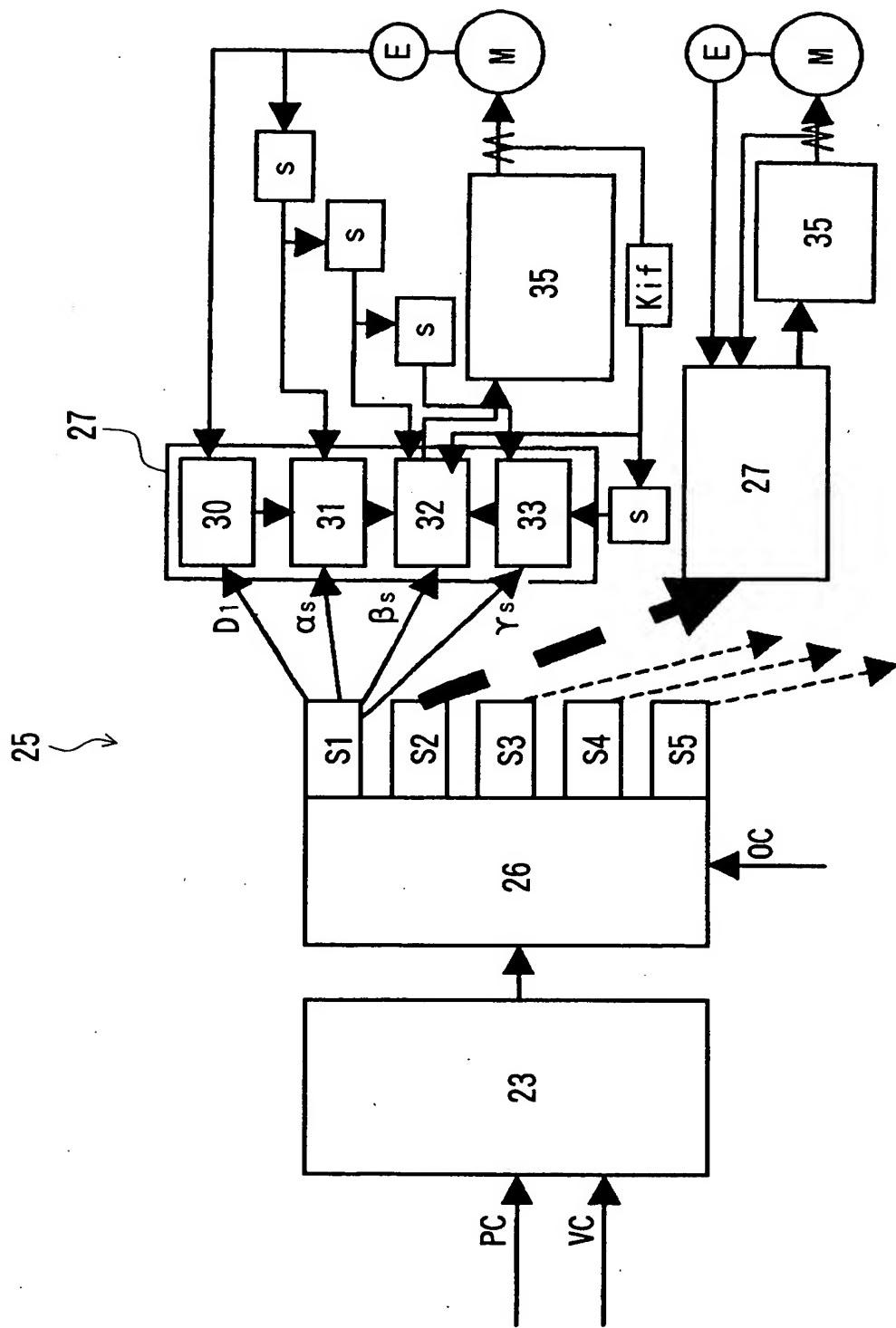
1 …… レーザ加工機

【書類名】 図面

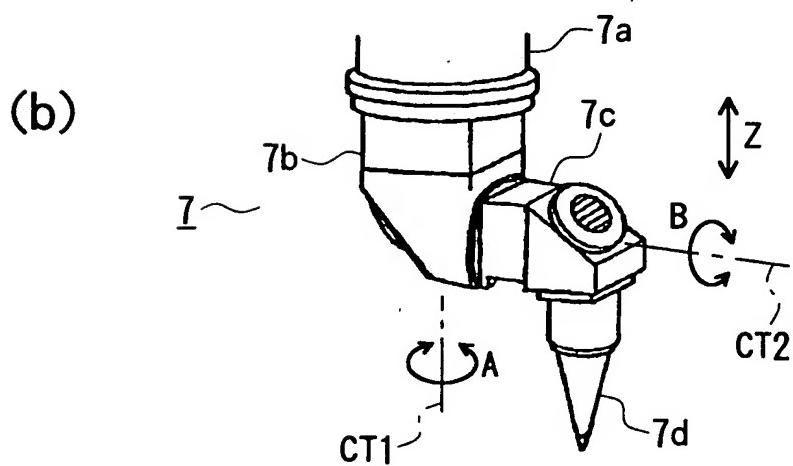
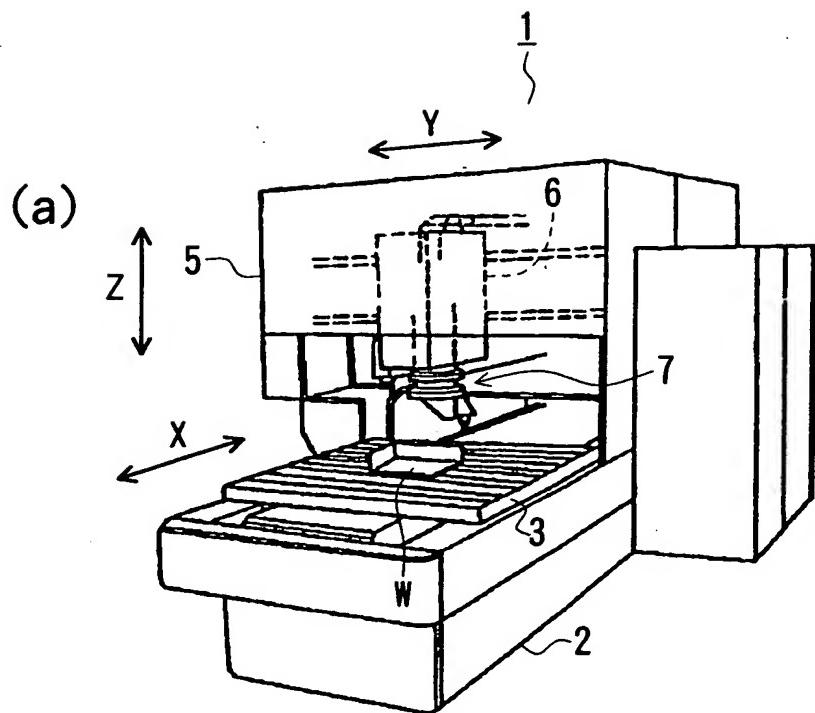
【図1】



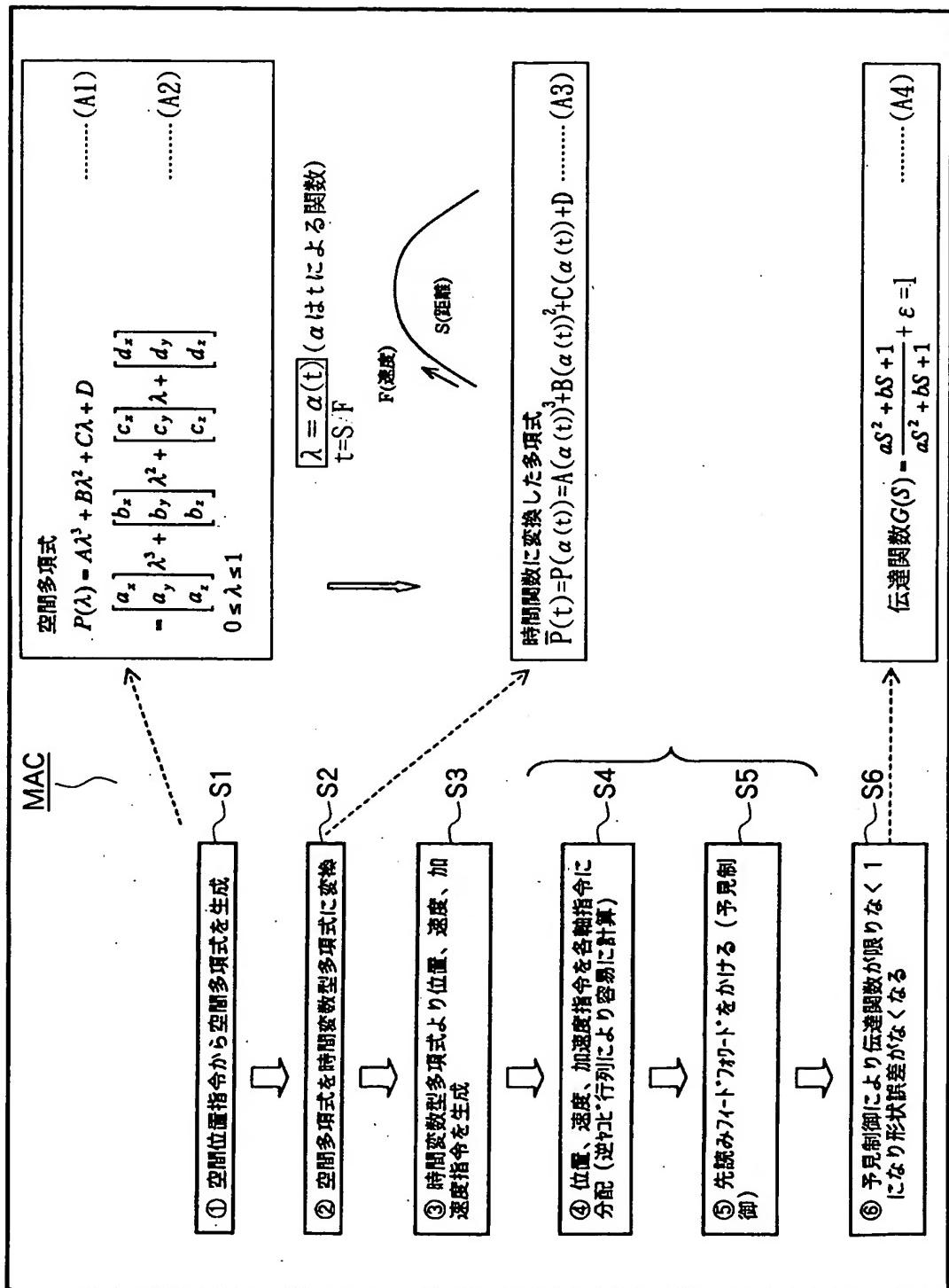
【図2】



【図3】



### 【図4】

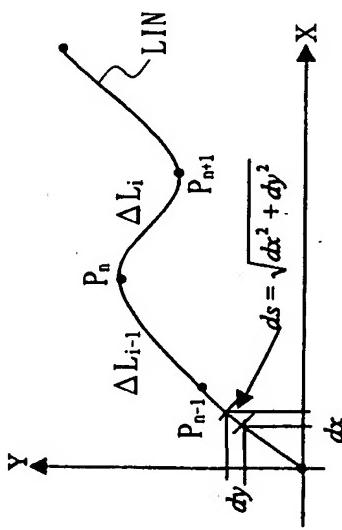


【図5】

左図が以下の多項式で定義された曲線である場合、

$$y = f(\lambda) = A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D \quad \dots\dots (B1)$$

この定義された曲線の全長を、ひとすると、



$$L = \int_0^L ds = \int_0^L \sqrt{dx^2 + dy^2} = \int_0^L \sqrt{\left(\frac{dx}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\lambda}\right)^2} \cdot d\lambda \quad \dots \dots \quad (B3)$$

で算出できる。

さらに、パラメータ  $\lambda$  を  $0 = \lambda_0 < \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots < \lambda_n = 1$  の数列で区切って、次の線素を定義する。

$$\Delta L_i = \int_0^{x_i} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\lambda}\right)^2} \cdot d\lambda \quad \dots \dots \dots \text{(B4)}$$

ここで、この曲線上を時間変数 $t$ をもつ速度関数 $F(t)$ の速度プロファイルを与えて、

$$\Delta F_i = \int_{t_0}^{t_f} F_i(t) \cdot dt \quad \dots \dots \dots \quad (B5)$$

を求め、この線分長を(1)の線分長と等しくすることで、(1)の開導付はができる

$$\Delta L_i = \int_0^{L_i} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\lambda}\right)^2} \cdot d\lambda = \int_0^{L_i} F(t) \cdot dt$$

ニカガヨハシトア

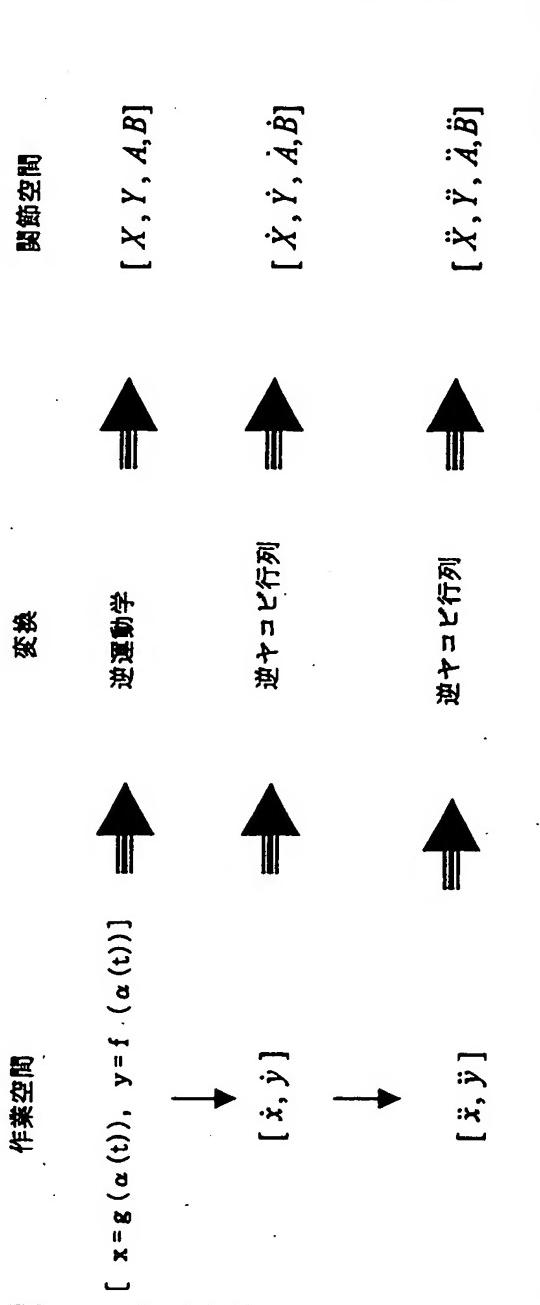
$\lambda = \alpha(t)$  ....(B6)

卷之三

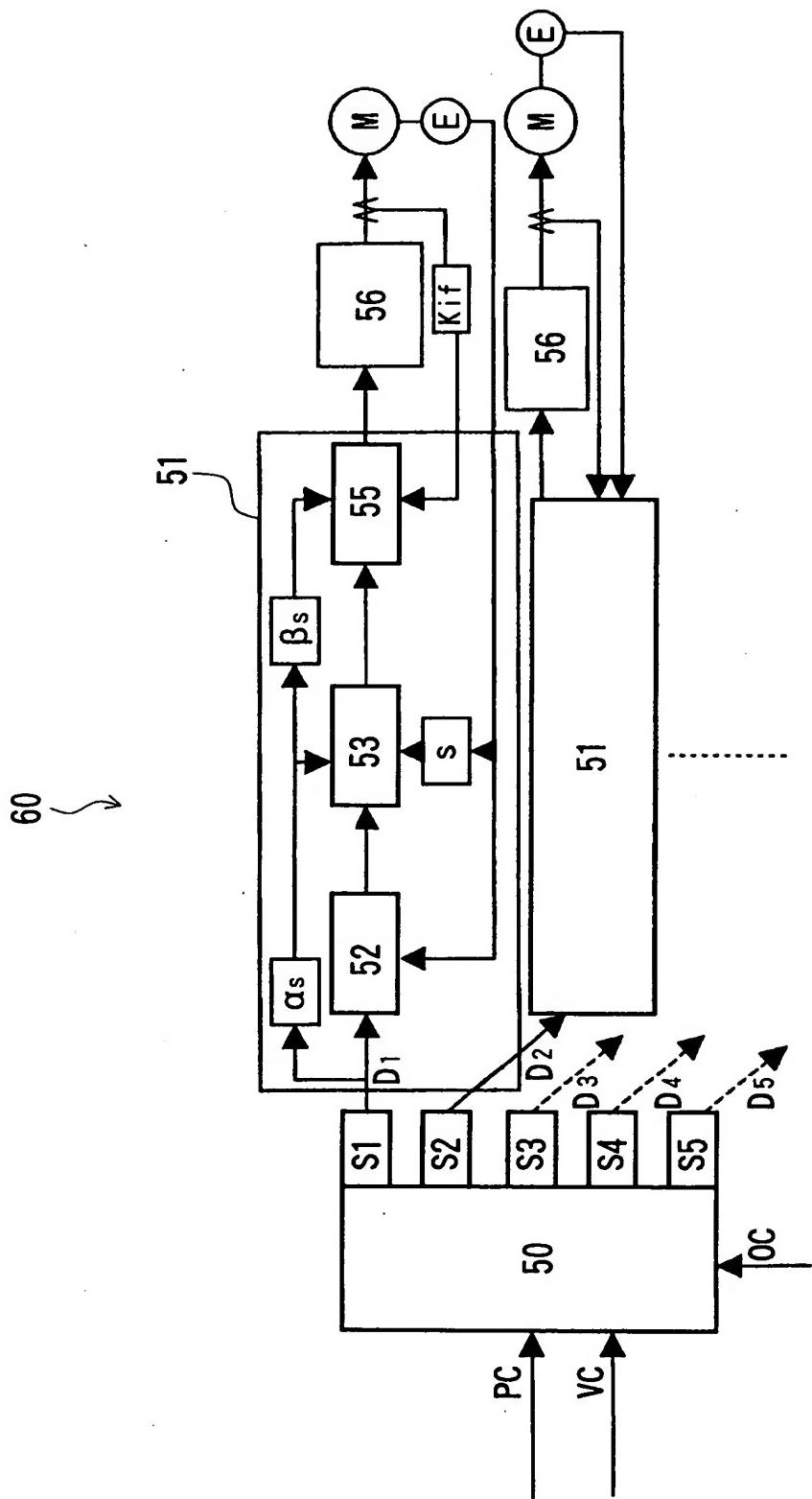
【図6】

(3) 式から、 $y=f(\alpha(t))$ 、 $x=g(\alpha(t))$ で、各軸の作業空間位置を時間関数として捕らえることができる。

したがって、各軸の作業空間から関節空間への変換は、次の関係で求まる。



【図7】



特2000-371386

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 送りムラや位置ズレを低減し、曲面加工等を高精度に行うことのできる数値制御方法の提供

【解決手段】 制御軸を制御しながら、制御対象物を所定の軌跡に沿って移動させる数値制御方法において、軌跡を空間多項式で近似すると共に、多項式を時間関数としての多項式に変換し、変換された時間関数としての多項式を各制御軸について分配し、各軸に分配された時間関数としての多項式に基づいて、各制御軸における制御指令を生成し、制御指令に基づいて、各制御軸を制御して、制御対象物を軌跡に沿って移動させる。制御対象物の速度、加速度、加加速度は、時間関数で表された多項式を微分して行くことにより、予め各制御軸について簡単に求めることが出来る。制御対象物は、多項式が表す軌跡に沿って移動するように制御され、送りムラや位置ズレを低減し、曲面加工等を高精度に行うことができる

【選択図】 図4

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2000-371386
受付番号	50001573224
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0092
作成日	平成12年12月11日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成12年12月 6日

次頁無

特2000-371386

出願人履歴情報

識別番号 [500560521]

1. 変更年月日 2000年12月 6日

[変更理由] 新規登録

住所 愛知県名古屋市天白区表山3丁目2443  
氏名 山崎 恒彦